

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

M. Tago et al.  
10/043,225  
Filed 1/14/02  
Q 67964 3/2

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 6月 6日

出願番号

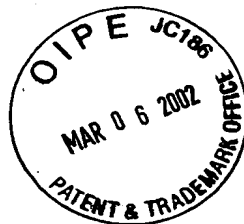
Application Number:

特願2001-170787

出願人

Applicant(s):

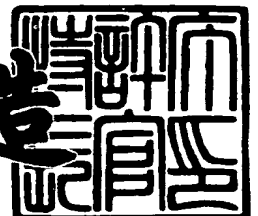
日本電気株式会社



2001年11月30日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3104901

【書類名】 特許願

【整理番号】 35600099

【提出日】 平成13年 6月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/60  
H01L 21/321

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 西山 知宏

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 田子 雅基

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 田尾 哲也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 三ヶ木 郁

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100114672

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮本 恵司

【電話番号】 042-730-6520

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 5977

【出願日】 平成13年 1月15日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 093404

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0004232

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置及びその製造方法並びに半導体製造装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも、配線層上に形成された第 1 の金属を含む接着層上に、合金ハンダからなるハンダバンプを有する半導体装置において、

前記ハンダバンプと前記接着層との間に、前記合金ハンダの主となる金属と該金属とは異なる第 2 の金属とを含む金属間化合物が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】

少なくとも、配線層上に形成された第 1 の金属を含む接着層上に、合金ハンダからなるハンダバンプを有する半導体装置において、

前記ハンダバンプと前記接着層との間に、前記合金ハンダの主となる金属と該金属とは異なる第 2 の金属との金属間化合物と、前記接着層に含まれる前記第 1 の金属と前記合金ハンダの主となる金属との金属間化合物とが複合された合金層が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 3】

少なくとも、配線層上に形成された第 1 の金属を含む接着層上に、合金ハンダからなるハンダバンプを有する半導体装置において、

前記ハンダバンプと前記接着層との間に、前記接着層上に一旦配設され、前記ハンダバンプの形成に際して前記合金ハンダ内に溶解される金属層を構成する第 2 の金属と前記合金ハンダの主となる金属とを含む金属間化合物が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 4】

少なくとも、配線層上に形成された第 1 の金属を含む接着層上に、合金ハンダからなるハンダバンプを有する半導体装置において、

前記ハンダバンプと前記接着層との間に、前記接着層上に一旦配設され、前記ハンダバンプの形成に際して前記合金ハンダ内に溶解される金属層を構成する第 2 の金属と前記合金ハンダの主となる金属との金属間化合物と、前記接着層に含

まれる前記第 1 の金属と前記合金ハンダの主となる金属との金属間化合物とが複  
合された合金層が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 5】

前記合金ハンダの主となる金属が錫であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の  
いずれかに記載の半導体装置。

【請求項 6】

前記合金ハンダの前記錫に次いで主たる成分が銀であることを特徴とする請求  
項 5 記載の半導体装置。

【請求項 7】

前記合金ハンダに、銅が添加されていることを特徴とする請求項 5 又は 6 に記  
載の半導体装置。

【請求項 8】

前記第 2 の金属が、銅、又は、前記第 1 の金属と異なる金属であり、かつ錫と  
金属間化合物を形成する金属からなることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいづれ  
かに記載の半導体装置。

【請求項 9】

前記接着層に含まれる前記第 1 の金属がニッケルを含むことを特徴とする請求  
項 1 乃至 8 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 10】

前記接着層が、膜質の異なるニッケル又はニッケル合金を積層した膜からなる  
ことを特徴とする請求項 9 記載の半導体装置。

【請求項 11】

前記接着層が、ニッケル又はニッケル合金と、銅又は銅合金とを積層した膜か  
らなることを特徴とする請求項 9 記載の半導体装置。

【請求項 12】

前記ニッケル合金が、ニッケル／バナジウム合金、ニッケル／燐合金、または  
、ニッケル／チタン合金のいずれかを含むことを特徴とする請求項 10 又は 11  
に記載の半導体装置。

【請求項 13】

前記配線層と前記接着層との間に、密着層が配設されていることを特徴とする請求項1乃至12のいずれかーに記載の半導体装置。

【請求項14】

前記密着層が、チタン又はチタン／タングステン合金を含むことを特徴とする請求項13記載の半導体装置。

【請求項15】

配線層上に、少なくとも、第1の金属を含む接着層を介して合金ハンダからなるハンダバンプを形成する半導体装置の製造方法において、

前記ハンダバンプを形成するに際し、主となる金属とは異なる第2の金属を添加した合金ハンダを一旦溶融した後、冷却することにより、前記第2の金属と前記合金ハンダの主となる金属とを含む金属間化合物を、前記接着層と前記ハンダバンプとの界面に析出させることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項16】

配線層上に、合金ハンダと反応し、界面に第1の金属間化合物を形成する第1の金属を含む接着層を形成する工程と、主となる金属とは異なる第2の金属を添加した合金ハンダを供給する工程と、前記合金ハンダを一旦溶融した後、冷却することにより、前記第1の金属間化合物、及び、前記合金ハンダの主となる金属と前記第2の金属との第2の金属間化合物が複合された合金層を、前記接着層と前記合金ハンダとの界面に形成する工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項17】

配線層上に、少なくとも、第1の金属を含む接着層を介して合金ハンダからなるハンダバンプを形成する半導体装置の製造方法において、

前記接着層上に第2の金属からなる金属層を形成し、前記ハンダバンプを形成するに際し、前記金属層の全てを前記合金ハンダに一旦溶融した後、冷却することにより、前記第2の金属と前記合金ハンダの主となる金属とを含む金属間化合物を、前記接着層と前記ハンダバンプとの界面に析出させることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項18】

配線層上に、合金ハンダと反応し、界面に第 1 の金属間化合物を形成する第 1 の金属を含む接着層を形成する工程と、前記合金ハンダと反応し、第 2 の金属間化合物を形成する第 2 の金属からなる金属層を形成する工程と、前記合金ハンダを供給する工程と、前記合金ハンダを一旦溶融した後、冷却することにより、前記第 1 の金属間化合物および前記第 2 の金属間化合物が複合された合金層を、前記接着層と前記合金ハンダとの界面に形成する工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 1 9】

前記金属層上に、更に金からなる酸化防止膜が薄く形成されていることを特徴とする請求項 1 7 又は 1 8 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 0】

配線層上に、合金ハンダと反応し、界面に第 1 の金属間化合物を形成する第 1 の金属を含む接着層を形成する工程と、前記合金ハンダと反応し、第 2 の金属間化合物を形成する第 2 の金属からなる金属層を形成する工程と、前記金属層上に錫からなる薄膜を形成し、前記第 2 の金属と前記錫との合金層を予め形成する工程と、前記合金ハンダを供給する工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 2 1】

前記配線層上に前記接着層を形成する前に、前記配線層と前記接着層との密着性を保持する密着層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 1 5 乃至 2 0 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 2】

前記ハンダバンプの形成に際し、該ハンダバンプの前記接着層との界面の温度が、頂部の温度よりも低くなる所定の温度勾配を設けて、前記合金ハンダの溶融及び前記金属間化合物の析出を行うことを特徴とする請求項 1 5 乃至 2 1 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 3】

前記ハンダバンプの形成に際し、前記半導体装置をステージに載置し、該ステージ下部に移動可能に設けられた加熱プレートと冷却プレートとを順次前記ステ

ージに接触させることにより、前記合金ハンダの溶融及び前記金属間化合物の析出を行うことを特徴とする請求項 1 5 乃至 2 2 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 4】

前記加熱プレートによる加熱に際し、前記半導体装置上部に設けた非接触加熱手段により前記半導体装置を上方からも加熱し、前記冷却プレートによる冷却に際して、前記非接触加熱手段による加熱を継続し、前記ハンダバンプの頂部と前記接着層との界面との温度勾配を大きくして前記金属間化合物の前記接着層との界面への析出を促進することを特徴とする請求項 2 3 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 5】

前記冷却プレートによる冷却を、 $2^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上の冷却速度で行うことを特徴とする請求項 2 3 又は 2 4 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 6】

前記加熱プレートによる加熱及び前記冷却プレートによる冷却が、所定のガスの減圧雰囲気下で行われることを特徴とする請求項 2 3 乃至 2 5 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 7】

前記所定のガスが、不活性ガス又は還元性ガスのいずれかを含有することを特徴とする請求項 2 6 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 8】

前記不活性ガスが、窒素又はアルゴンからなり、前記還元性ガスが、水素又は水素を含む混合ガスからなることを特徴とする請求項 2 7 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 9】

前記接着層が、スパッタリングにより形成したニッケル、ニッケル合金、銅又は銅合金のいずれかの単層膜又は複数の積層膜からなることを特徴とする請求項 1 5 乃至 2 8 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3 0】



前記接着層が、無電解メッキ又は電解メッキにより形成したニッケル、ニッケル合金、銅又は銅合金のいずれか一の単層膜又は複数の積層膜からなることを特徴とする請求項 1 5 乃至 2 8 のいずれか一に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3 1】

前記接着層が、請求項 2 9 記載の膜と、請求項 3 0 記載の膜との積層膜からなることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 3 2】

前記金属層が、スパッタリング、無電解メッキ又は電解メッキのいずれか一又は複数の方法により形成した銅薄膜を含むことを特徴とする請求項 1 5 乃至 3 1 のいずれか一に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3 3】

前記金属層の膜厚が、前記合金ハンダの溶融に際して全てが該合金ハンダ内に溶解し、前記合金ハンダの冷却に際して少なくとも一部が該合金ハンダから析出する量となるように設定されていることを特徴とする請求項 3 2 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3 4】

前記合金ハンダを、所定量に成形されたボールもしくはペレットにより供給することを特徴とする請求項 1 5 乃至 3 3 のいずれか一に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3 5】

前記合金ハンダを、ハンダペーストにより供給することを特徴とする請求 1 5 乃至 3 4 のいずれか一に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3 6】

前記合金ハンダの主となる金属が錫であることを特徴とする請求項 1 5 乃至 3 5 のいずれか一に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3 7】

前記合金ハンダの前記錫に次いで主たる成分が銀であることを特徴とする請求項 3 6 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3 8】

前記合金ハンダに、銅が添加されていることを特徴とする請求項 3 6 又は 3 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3 9】

試料を搭載するステージと、前記試料を加熱する加熱手段と、前記試料を下方から冷却する冷却手段とを少なくとも有することを特徴とする半導体製造装置。

【請求項 4 0】

はんだを有する半導体装置を搭載するステージと、前記半導体装置を加熱する加熱手段と、前記半導体装置を下方から冷却する冷却手段とを少なくとも有することを特徴とする半導体製造装置。

【請求項 4 1】

前記加熱手段がヒータを内蔵した加熱プレートからなり、前記冷却手段が冷媒を内蔵した冷却プレートからなり、前記加熱プレートと前記冷却プレートとが前記ステージ下面に順次接触して熱伝導により加熱／冷却が行われることを特徴とする請求項 3 9 又は 4 0 に記載の半導体製造装置。

【請求項 4 2】

前記加熱手段又は前記冷却手段の少なくとも一方が、前記ステージに内蔵されていることを特徴とする請求項 3 9 又は 4 0 に記載の半導体製造装置。

【請求項 4 3】

更に、前記ステージ上部に、前記試料又は前記半導体装置を上方から非接触で加熱する非接触加熱手段を有することを特徴とする請求項 3 9 乃至 4 2 のいずれか一に記載の半導体製造装置。

【請求項 4 4】

前記ステージ及び前記試料又は前記半導体装置表面の温度を測定する温度センサと、該温度センサの出力を参照して、前記試料又は前記半導体装置の上面と下面との温度勾配が所定の値となるように、前記冷却手段及び前記非接触加熱手段とを独立に制御する制御手段とを備えたことを特徴とする請求項 4 3 記載の半導体製造装置。

【請求項 4 5】

接着層とはんだバンプとの間に金属間化合物を形成していることを特徴とする

はんだバンプ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置及びその製造方法並びに半導体製造装置に関し、特に、鉛フリーハンダバンプで接合された電極構造を有する半導体装置及びその製造方法並びに該半導体装置の製造に用いる半導体製造装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体装置の高機能、高密度化に伴い、多ピン化した半導体チップをハンダバンプでパッケージ用基板に接合する半導体パッケージや、ボール・グリッド・アレイ（BGA）型の外部端子を有する半導体パッケージが増加してきた。この種の半導体チップの電極では、組立時の熱履歴や、半導体パッケージの実装時にかかる熱履歴、また使用環境下における高温状態や温度変化により、接合部界面は金属間の反応によってその構成が変化し、信頼性上の不具合を発生することがあり、これらの問題に対し、信頼性を保つことが可能な金属組成となるように各材料を選択することが重要な要素の一つとなる。

【0003】

この目的のために、通常は錫および鉛により構成されたハンダをバンプとして使用する場合、図5に示すように、接着層5にニッケルや銅を使用し、その膜厚を5 $\mu$ m以上に厚く形成した層を介して接合する。そして、ニッケル層を介した場合、ハンダ中の錫とニッケルが反応して金属間化合物層11を形成して接合される。また、銅層を介して接合する場合、界面は錫と銅の金属間化合物層11を形成して接合される。

【0004】

銅と錫との反応性はニッケルと錫の場合より高いが、どちらの場合においても接合時の熔融状態において、また接合後の温度環境下においても拡散反応は進み、ハンダを構成する錫が接着層5であるニッケルや銅層を侵食していき、その結果、接合界面では錫が消費されて鉛の濃度が高い部分が形成されたり、錫の拡散

によるカーケンダルボイドなどが発生し、強度低下を招くという問題がある。この問題を解消するために、現在では、銅やニッケル層を厚く形成する方法、もしくは、ハンダ中の錫を減量した鉛リッチな高融点ハンダを使用している。

【0005】

しかしながら、近年、環境問題から鉛フリーハンダを使用する動きがあり、錫を主成分としたハンダを使用する必要が生じている。この錫を主成分としたハンダでは、銅やニッケル層を接着層5として使用した場合、上述の課題が顕著になり、信頼性上の問題がある。

【0006】

一般に、これらの問題を解決するために、主成分である錫にハンダぬれ性や機械的特性の観点から銀、ビスマス、アンチモン、亜鉛などを添加したハンダや、また、これらに銅、ニッケルなどからなる接着層5の溶食、拡散を防止するための元素を添加した多元系合金のハンダを使用している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、多元系のハンダは、その供給形態がハンダペーストやハンダボールを電極毎に供給するものであるため、電極各々の組成について微量な添加元素の均一性を保つことが困難であり、微量な添加元素の均一性を保とうとすると製造コストを引き上げることになる。

【0008】

また、溶食や拡散防止用の添加元素の効果は、主成分である錫に予め添加元素を固溶させておき、接合時にハンダ中への接着層5の溶解、また固溶を最小限にとどめるというものであるが、接合温度によって接着層5が固溶する総量は変化し、安定して接合するためには温度を高くする必要がある、通常は過剰に固溶してしまう。この接着層5が過剰に固溶する現象を防ぐためには添加元素を多く含有しなければならないが、結果として融点が高くなり、製造時に耐熱性を考慮しなければならない等、製品設計上大きな問題となる。

【0009】

更に、ハンダを溶融し、接合部を形成するためのリフロー炉は、図15に示す

ように、赤外線もしくは熱風によって温度制御された予備加熱、本加熱、冷却のエリア中をコンベアによって一定速度で通過させる方式をとっているが、この方式では、コンベアにて一定速度で各エリアを通過させるために温度制御が困難であり、接合部の金属間化合物層を材料設計したとおりに形成することはできない。また、リフロー炉内を搬送中のコンベアの振動により、半導体ウェハもしくはチップが破損したり、形成したハンダの移動によりブリッジが発生して歩留まりを低下させる原因となっている。

## 【 0 0 1 0 】

本発明の第1の目的は、微量な元素を多数添加した多元系の金属組成によって構成されたハンダを使用することなく、従来使用している2元又は3元のハンダを使用した場合であっても、接合部の界面反応を制御することができる信頼性の高い半導体チップの電極構造を提供することにある。

## 【 0 0 1 1 】

また、本発明の第2の目的は、上述の電極構造を有する信頼性の高い半導体装置及びその製造方法を提供することにある。

## 【 0 0 1 2 】

また、本発明の第3の目的は、半導体チップの温度制御を正確に行い、ハンダの溶融、金属間化合物の析出を制御することができる半導体製造装置を提供することにある。

## 【 0 0 1 3 】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の半導体装置は、少なくとも、配線層上に形成された第1の金属を含む接着層上に、合金ハンダからなるハンダバンプを有する半導体装置において、前記ハンダバンプと前記接着層との間に、前記合金ハンダの主となる金属と該金属とは異なる第2の金属とを含む金属間化合物が形成されているものである。

## 【 0 0 1 4 】

また、本発明の半導体装置は、少なくとも、配線層上に形成された第1の金属を含む接着層上に、合金ハンダからなるハンダバンプを有する半導体装置におい

て、前記ハンダバンプと前記接着層との間に、前記合金ハンダの主となる金属と該金属とは異なる第2の金属との金属間化合物と、前記接着層に含まれる前記第1の金属と前記合金ハンダの主となる金属との金属間化合物とが複合された合金層が形成されているものである。

【0015】

また、本発明の半導体装置は、少なくとも、配線層上に形成された第1の金属を含む接着層上に、合金ハンダからなるハンダバンプを有する半導体装置において、前記ハンダバンプと前記接着層との間に、前記接着層上に一旦配設され、前記ハンダバンプの形成に際して前記合金ハンダ内に溶解される金属層を構成する第2の金属と前記合金ハンダの主となる金属とを含む金属間化合物が形成されているものである。

【0016】

また、本発明の半導体装置は、少なくとも、配線層上に形成された第1の金属を含む接着層上に、合金ハンダからなるハンダバンプを有する半導体装置において、前記ハンダバンプと前記接着層との間に、前記接着層上に一旦配設され、前記ハンダバンプの形成に際して前記合金ハンダ内に溶解される金属層を構成する第2の金属と前記合金ハンダの主となる金属との金属間化合物と、前記接着層に含まれる前記第1の金属と前記合金ハンダの主となる金属との金属間化合物とが複合された合金層が形成されているものである。

【0017】

本発明においては、前記合金ハンダの主となる金属が錫であり、また、前記錫に次いで主たる成分が銀であり、また、前記合金ハンダに、銅が添加されている構成とすることができる。

【0018】

また、本発明においては、前記金属層を構成する前記第2の金属が、銅、又は、前記第1の金属と異なる金属であり、かつ錫と金属間化合物を形成する金属からなることが好ましい。

【0019】

また、本発明においては、前記接着層に含まれる前記第1の金属がニッケルを

含み、前記接着層が、膜質の異なるニッケル又はニッケル合金を積層した膜、又は、ニッケル又はニッケル合金と、銅又は銅合金とを積層した膜からなることが好ましい。

【0020】

また、本発明においては、前記配線層と前記接着層との間に、密着層が配設され、前記密着層が、チタン又はチタン／タングステン合金を含む構成とすることができる。

【0021】

本発明の半導体装置の製造方法は、配線層上に、少なくとも、第1の金属を含む接着層を介して合金ハンダからなるハンダバンプを形成する半導体装置の製造方法において、前記ハンダバンプを形成するに際し、主となる金属とは異なる第2の金属を添加した合金ハンダを一旦溶融した後、冷却することにより、前記第2の金属と前記合金ハンダの主となる金属とを含む金属間化合物を、前記接着層と前記ハンダバンプとの界面に析出させるものである。

【0022】

また、本発明の半導体装置の製造方法は、配線層上に、合金ハンダと反応し、界面に第1の金属間化合物を形成する第1の金属を含む接着層を形成する工程と、主となる金属とは異なる第2の金属を添加した合金ハンダを供給する工程と、前記合金ハンダを一旦溶融した後、冷却することにより、前記第1の金属間化合物、及び、前記合金ハンダの主となる金属と前記第2の金属との第2の金属間化合物が複合された合金層を、前記接着層と前記合金ハンダとの界面に形成する工程とを含むものである。

【0023】

また、本発明の半導体装置の製造方法は、配線層上に、少なくとも、第1の金属を含む接着層を介して合金ハンダからなるハンダバンプを形成する半導体装置の製造方法において、前記接着層上に第2の金属からなる金属層を形成し、前記ハンダバンプを形成するに際し、前記金属層の全てを前記合金ハンダに一旦溶融した後、冷却することにより、前記第2の金属と前記合金ハンダの主となる金属とを含む金属間化合物を、前記接着層と前記ハンダバンプとの界面に析出させる

ものである。

【 0 0 2 4 】

また、本発明の半導体装置の製造方法は、配線層上に、合金ハンダと反応し、界面に第 1 の金属間化合物を形成する第 1 の金属を含む接着層を形成する工程と、前記合金ハンダと反応し、第 2 の金属間化合物を形成する第 2 の金属からなる金属層を形成する工程と、前記合金ハンダを供給する工程と、前記合金ハンダを一旦溶融した後、冷却することにより、前記第 1 の金属間化合物および前記第 2 の金属間化合物が複合された合金層を、前記接着層と前記合金ハンダとの界面に形成する工程とを含むものである。

【 0 0 2 5 】

また、本発明の半導体装置の製造方法は、配線層上に、合金ハンダと反応し、界面に第 1 の金属間化合物を形成する第 1 の金属を含む接着層を形成する工程と、前記合金ハンダと反応し、第 2 の金属間化合物を形成する第 2 の金属からなる金属層を形成する工程と、前記金属層上に錫からなる薄膜を形成し、前記第 2 の金属と前記錫との合金層を予め形成する工程と、前記合金ハンダを供給する工程とを含むものである。

【 0 0 2 6 】

本発明においては、前記ハンダバンプの形成に際し、該ハンダバンプの前記接着層との界面の温度が、頂部の温度よりも低くなる温度勾配を設けて、前記合金ハンダの溶融及び前記金属間化合物の析出を行うことが好ましい。

【 0 0 2 7 】

また、本発明においては、前記ハンダバンプの形成に際し、前記半導体装置をステージに載置し、該ステージ下部に移動可能に設けられた加熱プレートと冷却プレートとを順次前記ステージに接触させることにより、前記合金ハンダの溶融及び前記金属間化合物の析出を行う構成とすることができる。

【 0 0 2 8 】

また、本発明においては、前記加熱プレートによる加熱に際し、前記半導体装置上部に設けた非接触加熱手段により前記半導体装置を上方からも加熱し、前記冷却プレートによる冷却に際して、前記非接触加熱手段による加熱を継続し、前



記ハンダバンプの頂部と前記接着層との界面との温度勾配を大きくして前記金属間化合物の前記接着層との界面への析出を促進する構成とすることもできる。

【0029】

また、本発明においては、前記加熱プレートによる加熱及び前記冷却プレートによる冷却が、所定のガスの減圧雰囲気下で行われる構成とすることができ、前記所定のガスが、不活性ガス又は還元性ガスのいずれかを含むことが好ましい。

【0030】

また、本発明においては、前記接着層が、スパッタリングにより形成したニッケル、ニッケル合金、銅又は銅合金のいずれか一の単層膜又は複数の積層膜、又は、無電解メッキ又は電解メッキにより形成したニッケル、ニッケル合金、銅又は銅合金のいずれか一の単層膜又は複数の積層膜、又は、これらの積層膜からなることが好ましい。

【0031】

また、本発明においては、前記金属層が、スパッタリング、無電解メッキ又は電解メッキのいずれか一又は複数の方法により形成した銅薄膜を含むことが好ましい。

【0032】

また、本発明においては、前記金属層の膜厚が、前記合金ハンダの溶融に際して全てが該合金ハンダ内に溶解し、前記合金ハンダの冷却に際して少なくとも一部が該合金ハンダから析出する量となるように設定されていることが好ましい。

【0033】

また、本発明においては、前記合金ハンダを、所定量に成形されたボールもしくはペレットにより、又は、ハンダペーストにより供給する構成とすることができ。

【0034】

また、本発明の半導体製造装置は、試料を搭載するステージと、前記試料を下方から加熱する加熱手段と、前記試料を下方から強制的に冷却する冷却手段とを少なくとも有するものである。

【0035】

また、本発明の半導体製造装置は、はんだを有する半導体装置を搭載するステージと、前記半導体装置を加熱する加熱手段と、前記半導体装置を下方から冷却する冷却手段とを少なくとも有するものである。

【 0 0 3 6 】

本発明においては、前記加熱手段がヒータを内蔵した加熱プレートからなり、前記冷却手段が冷媒を内蔵した冷却プレートからなり、前記加熱プレートと前記冷却プレートとが前記ステージ下面に順次接触して熱伝導により加熱／冷却が行われる構成とすることができる。

【 0 0 3 7 】

また、本発明においては、更に、前記ステージ上部に、前記試料又は前記半導体装置を上方から非接触で加熱する非接触加熱手段を有する構成とすることもできる。

【 0 0 3 8 】

上述した半導体チップの電極構造は、接着層上に錫系多元合金ハンダを供給し、加熱溶融によって、接着層とバンプの界面に錫と接着層により形成された単一の金属間化合物層が形成されているという従来の構成に対し、錫の溶解、拡散を防止するためのハンダ合金化層を薄く形成し、錫系 2 元又は 3 元合金ハンダをハンダペーストもしくはハンダボールの形態で供給し、加熱溶融することで錫とハンダ合金化層及び錫と接着層の各々 2 つの金属間化合物を複合したハンダ合金層 6 を形成することを特徴としている。

【 0 0 3 9 】

このように、予め接着層の上部にハンダ合金化層を薄く設けることで、得られるハンダバンプの構造は、錫を主成分とした 2 元又は 3 元合金ハンダと、ハンダ中の錫とハンダ合金化層が反応した第 1 の金属間化合物と、ハンダ中の錫と接着層が反応した第 2 の金属間化合物とが複合してなる複合ハンダ合金層にて接合界面を構成する。

【 0 0 4 0 】

そして、この第 1 および第 2 の金属間化合物が複合した複合ハンダ合金層は、ハンダ溶融の際に、薄いハンダ合金化層がすべて第 1 の金属間化合物層となり、

第2の金属間化合物とほぼ同時に形成されるため、第1の金属間化合物は、第2の金属間化合物を成長させる拡散経路を遮断するという役目を果たす。

#### 【0041】

また、複合ハンダ合金層は異なる材料で構成されているため、濃度勾配が不連続で、単一層に比べて結晶粒界が密であるため、拡散の進行を抑制することができる。さらに、析出した金属間化合物の融点はハンダ合金の融点より高いため、その後の製造プロセス時や、実装時にハンダを再溶融してもハンダ中へは溶解しないという効果を持つ。

#### 【0042】

従って、通常であれば拡散により成長するハンダ中の錫と接着層との金属間化合物層は、第1の金属間化合物が結晶粒界等の拡散経路に配置されることによって成長が抑制され、組立中での繰り返しの加熱履歴や、実装後の使用環境下による温度変化に対して経時変化が少ない信頼性の高い接合界面が得られるという効果を奏する。

#### 【0043】

また、本発明の半導体製造装置では、半導体チップを搭載するステージと、ステージを加熱する加熱源と、ステージを強制的に冷却する冷却源とを含み、予備加熱、本加熱、冷却の各段階で異なる昇温速度、冷却速度を選択することができ、特に、冷却速度を極端に速く、そして半導体チップの裏面から冷却することによってハンダと接着層との界面に複合した金属間化合物層を形成することができる。さらに、この効果を顕著にするために、半導体チップの上部に非接触型の加熱源を設け、冷却プレートからの冷却時にも半導体チップ上部を加熱することによって、半導体チップの上部と下部、具体的にはハンダの頂部と底部の温度勾配を大きくすることが可能となり、ハンダ界面での複合した金属間化合物層の析出、形成をより一層促進させることが可能となる。

#### 【0044】

#### 【発明の実施の形態】

上記した本発明の目的、特徴および利点を明確にすべく、本発明の一実施の形態について以下に詳述する。

## 【0045】

## 〔実施の形態1〕

まず、本発明の第1の実施形態に係る半導体装置及びその製造方法について、図1乃至図3を参照して以下に詳述する。図1は、本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の bumps 構造を示す断面図である。また、図2及び図3は、ハンダ bumps を形成する前の電極構造を示す断面図であり、図2はハンダをハンダボールとして供給する場合を示し、図3はハンダペーストとして供給する場合を示している。

## 【0046】

図2に示すように、半導体チップ1の配線2上には、配線2を構成する金属との密着を得る密着層4と、ハンダと反応し合金化する接着層5と、ハンダと合金化する接着層5とは異なる金属により薄く形成されたハンダ合金化層8とにより電極が形成され、この電極上に錫を主成分とし、鉛を含まない2元又は3元合金のハンダボール9が供給される。

## 【0047】

この状態でハンダボール9を加熱溶融すると、ハンダ合金化層8はすべてハンダ中の錫と反応し、一旦、錫中へ固溶する。それと同時にハンダ中の錫は接着層5を固溶する。ハンダ中の錫への固溶する総量は溶融する温度により決定されるため、この状態で冷却を開始すると接合界面に金属間化合物層を形成するが、本実施形態の場合、錫中へ固溶しているハンダ合金化層8を構成する金属と接着層を構成する金属の両方が同時に接合界面で金属間化合物を析出するため、金属間化合物の複合層である複合ハンダ合金層6が形成される。

## 【0048】

ここで重要なことは、ハンダ合金化層8は、錫系2元又は3元合金ハンダボール9の錫に対して溶解しうるだけの量であり、且つ、冷却時に析出するように考慮してその膜厚を決定する必要がある、溶解する量が少ない場合には、冷却時に析出せずに錫中へ固溶したままハンダ bumps 7が凝固するため、このような金属間化合物の複合層は形成されない。

## 【0049】

図1は、このようにして得られたハンダバンプ7の断面図を示しているが、一旦、金属間化合物の複合層として複合ハンダ合金層6が形成されると、金属間化合物の融点は高いため、組立時にかかるハンダ溶融温度以上の熱履歴においても接合界面での接着層5の溶解現象が起きることなく、さらに溶融温度以下の熱履歴による拡散現象も、金属間化合物の複合層が結晶粒界に配置されるため抑制されるという効果を奏する。

## 【0050】

より具体的に説明するために、鉛フリーハンダバンプとして、錫系2元合金ハンダボール9に96.5重量%錫/3.5重量%銀の共晶ハンダを使用する場合の代表的な金属組成を用いて説明する。

## 【0051】

半導体チップ1の配線2は、通常、アルミニウムもしくはアルミニウム合金で形成されている。密着層4はチタン、チタン/タングステン合金等、接着層5はニッケル/バナジウム合金等、ハンダ合金化層8は銅等を順次スパッタリングにより形成し、電極が形成される。ここで、ハンダ合金化層8である銅の膜厚は、ハンダボール9中に含まれる錫の比率に対し、溶解時にすべて固溶し、且つ冷却凝固時に金属間化合物として界面に析出することができる量、すなわち過飽和な量が望ましい。但し、銅の供給量が過剰になりすぎると、形成されたハンダバンプ7の表面が凹凸の激しい不均一な形状になることや、溶融時のぬれ性が悪化し、ボイドが発生する恐れがあるため注意を要する。

## 【0052】

なお、密着層4にはチタン、チタン/タングステン合金を用いているが、クロム、クロム/銅合金でも良く、接着層5にはニッケル/バナジウム合金を用いているが、ニッケル、ニッケル/燐合金、ニッケル/チタン合金、ニッケル/クロム合金、銅もしくは銅合金を使用しても良い。また、本発明の特徴の一つであるハンダ合金化層8は銅を使用しているが、接着層5とは異なる材料であり、且つハンダ中の錫と金属間化合物を形成する金属であればよい。

## 【0053】

さらに、本実施形態では、接着層5、ハンダ合金化層8ともにスパッタリング

により形成されているが、電解メッキもしくは無電解メッキ、又はスパッタリングとの組み合わせにより形成しても良く、異なる材料、異なる方法の組み合わせにより形成した積層構造としても良い。例えば、接着層 5 として、スパッタリングで形成したニッケル又は銅の上に、電解メッキで形成したニッケルを積層した構造とすることもできる。なお、成膜に際して条件を調整することにより、膜質を粒径の小さい粒状構造とし膜の緻密性を向上させることができ、ハンダに溶融される量を制御することができる。また、ハンダ合金化層 8 は、銅などの表面酸化が進みやすい材料を使用するため、酸化を防止してハンダぬれ性を向上させる目的で、ハンダ合金化層 8 の上に極めて薄い金、もしくは酸化を防止してハンダぬれ性を促進させる層を設けても良い。

## 【0054】

加えて、ここではハンダとして錫系の 2 元合金を用いた例を示しているが、ハンダに微量の銅を添加した 3 元合金ハンダを用いても良く、その他の多元系合金ハンダでも良い。また、本実施形態では、ハンダ合金化層 8 を接着層 5 上に形成する構成について記載したが、ハンダ中にハンダ合金化層 8 を構成する元素が添加されている場合には、ハンダ合金化層 8 は設けなくても良い。

## 【0055】

## [実施の形態 2]

次に、本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置及びその製造方法並びに半導体製造装置について、図 6 乃至図 13 を参照して説明する。図 6 乃至図 8 は、本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の構造を示す断面図である。図 9 及び図 10 は、本実施形態に係る半導体製造装置の構造を模式的に示す断面図である。また、図 11 は、半導体装置の製造手順を示すフローチャート図であり、図 12 は、半導体装置の製造工程の一部を示す工程断面図である。また、図 13 は、本実施形態の特徴である加熱／冷却のタイミングを示す図である。

## 【0056】

図 6 に示すように、接着層 5 とハンダバンプ 7 の間には、ハンダ主成分の金属と接着層 5 を構成する金属との金属間化合物と、予め合金ハンダ中に微量添加、もしくは予め接着層 5 上に薄く形成した金属とハンダ主成分から構成される第 2

の金属間化合物とが複合している複合ハンダ合金層 6 が形成された構造となっている。この複合ハンダ合金層 6 はハンダバンプ形成時の加熱／冷却過程において、その構成する組成と条件により界面に析出し、構造を制御することができる。

## 【0057】

この構造を得るための加熱／冷却過程を含む製造方法ならびに製造装置について、図 9 を参照して詳細に説明する。ハンダ供給済み半導体チップ 1 a はリフロー装置内のステージ 19 上に設置され、リフローエリア 18 は減圧及び不活性ガス又は還元性ガスの充填が可能となっている。また、ステージ 19 の裏面には加熱プレート 20 および冷却プレート 21 とがあり、このプレートのいずれかをステージ 19 の裏面に接触させることによって熱を伝達し、温度制御を行う。ここで、熱を安定して効率良く伝達するため、ステージ 19 及び加熱プレート 20 には熱伝導率が高く、加工が容易なカーボンを使用し、冷却プレート 21 には耐食性のあるステンレスを使用している。

## 【0058】

なお、本実施形態ではステージ 19 及び加熱プレート 20 としてカーボンを使用しているが、熱伝導率が高い材料であればその他の材料を使用しても良く、組み合わせは適宜自由に選択することができる。また、ステージ 19 は反りを極力小さく、可能な範囲で薄く形成して熱容量を小さくすることが望ましい。

## 【0059】

半導体チップ 1 a の加熱／冷却に際して、リフローエリア 18 の不活性ガス充填は必要に応じて実施する。充填するガスとしては、ハンダ表面の酸化防止、また酸化物の還元作用のあるガス、例えば、不活性ガスとして窒素、アルゴン等、還元性ガスとして水素、水素を含む気体等が使用される。冷却方式については、水冷式等により冷却された冷却プレート 21 をステージ 19 に接触させる方式のほか、冷却気体をステージ 19 裏面に吹き付ける方法などを使用することができ、本発明の効果を実現できる冷却能力の範囲で任意の方法が選択可能である。

## 【0060】

更に、リフローエリア 18 の上方に赤外線など非接触型加熱源 22 を設けることにより、ハンダを上方より加熱しつつ、かつ、半導体チップ 1 a を裏面より冷

却することが可能となり、半導体チップ1aの上部と下部との間の温度勾配を大きくすることによって、ハンダ接合界面に所望の金属間化合物層が析出しやすくなり、複合ハンダ合金層6を形成するための詳細な温度制御が可能となる。

#### 【0061】

なお、半導体製造装置としては、上述の装置構成のほか、図10に示すように、ステージ19a内部に加熱源、冷却源、又はその双方が組み込まれたような方式でもよく、ヒータを組み込んだり、温媒、冷媒を流すことによって加熱/冷却を実現することができる。また、ハンダバンプを形成する半導体の形態は、チップ状態に限定されず、ウェハ上への一括形成も可能である。

#### 【0062】

次に、図11及び図12を参照して、本実施形態の半導体装置の製造手順について説明する。なお、図11(a)は、加熱/冷却源として加熱プレート20と冷却プレート21のみを使用し、大気中でリフローする場合の手順を示し、図11(b)は、加熱源として更に非接触型加熱源22を用い、リフローエリア18に不活性ガスを充填する場合の手順を示している。

#### 【0063】

まず、ステップS101、S201において、半導体チップ1の接着層5、又はその上に形成したハンダ合金化層8上にハンダ合金およびフラックスを所定量供給する。供給の方法としては、図7に示したハンダボール搭載法や、図8に示した電解ハンダメッキ法、またはその他にハンダペースト印刷法など、所定量のハンダが供給可能な方法を適宜選択することができる。

#### 【0064】

次に、ステップS102、S202において、ハンダ供給済みの半導体チップ1aをリフロー装置内のステージ19上に設置し(図12(a)参照)、リフローエリア18を密閉して所定の圧力まで減圧した後(ステップS203)、窒素、水素または水素を含む混合ガスで充填する(ステップS204)。この工程は、リフローエリア18を低酸素濃度または還元性雰囲気にすることによってハンダの濡れ性を改善するために行うものであり、濡れ性に起因する不具合がない場合は、図11(a)に示すように適宜省いても良い。



## 【0065】

次に、ステップS103、S205において、ステージ19の裏面に設定温度に加熱された加熱プレート20を接触させ、ハンダの温度を融点以上の所定温度まで上昇させて溶融する（図12（b）参照）。なお、非接触型加熱源22を備えた装置の場合は、この加熱源も稼働させて加熱を行う。この加熱工程において、溶融したハンダに接した界面では接着層5を構成する金属がハンダ中に溶解していく。また、接着層5の上層に濡れ性改善層17を形成している場合には、濡れ性改善層17、接着層5の順にハンダ内への溶解が進む。

## 【0066】

その後、ステップS104、S206において、加熱プレート20をステージ19から離し、冷却プレート21をステージ19裏面に接触させて冷却を開始する（図12（c）参照）。ここで、半導体チップ1aは裏面側から冷却されるため、図の上方から下方に向かって急激に温度が低下して大きな温度勾配が生じ、溶融したハンダは接着層5側から凝固する。この凝固プロセスにおいて、ハンダより融点の高い金属間化合物は、接着層5が析出するための核となり、接着層5付近に錫と接着層5の原子との金属間化合物の初晶を析出する。

## 【0067】

析出する金属間化合物は、ハンダの主成分である錫と接着層5を構成する金属との金属間化合物と、ハンダの主成分の錫とハンダ内の接着層5とは異なる、例えば、ハンダ合金化層8を構成する金属との金属間化合物、もしくは錫と濡れ性改善層17を構成する金属との金属間化合物であり、これらは同時に接着層5付近に析出して両相が複合した複合ハンダ合金層6が形成され（図6参照）、パンプ形成が完了する（ステップS105、S208）。なお、冷却過程でのハンダ内の温度勾配は、冷却速度が速いほど顕著になり初晶が接着層付近に析出しやすくなるため、冷却速度は速い方が良く、例えば、2℃/秒以上であることが望ましい。

## 【0068】

接着層5界面近傍における冷却速度を大きくするには、ステージ19下方の加熱プレート20による加熱とリフローエリア18上方に設けた赤外線ヒータなど

の非接触型加熱源 22 による加熱とを同時に行い、ステップ 206 において冷却プレート 21 による冷却を開始した後も、非接触型加熱源 22 により上部からの加熱を継続すればよく、この上方からの加熱と下方からの冷却とを組み合わせることによってはんだ供給済み半導体チップの温度差が大きくなり、効果的に金属間化合物を析出させることができる。

## 【0069】

この動作を図 13 を参照して説明する。図 13 には、ステージ 19 表面温度と、加熱プレート 20 及び冷却プレート 21 の切り替えのタイミング、および非接触型加熱源 22 の ON/OFF のタイミングを示している。非接触型加熱源 22 は加熱初期より ON の状態にし、半導体チップ 1a を上下から加熱する。そして、ハンダの融点以上の所定温度になった時点、あるいは、ハンダの融点以上の所定温度になってから一定の時間が経過した時点で加熱プレート 20 から冷却プレート 21 に切り換えて冷却を開始するが、非接触型加熱源 22 はハンダの融点（図中： $T_m$ ）より数℃（図中： $\Delta T$ ）低い温度  $T_1$  に下がるまで ON の状態を維持する。こうすることによって融点近傍でのハンダ内の温度勾配をより顕著にし、確実に接着層 5 近傍に金属間化合物を析出させることができる。

## 【0070】

なお、このような制御を行うには、ステージ 19 の温度又は半導体チップの表面温度を検出する温度センサを設け、この温度センサからの出力を参照して、プレートの切り替え、非接触型加熱源 22 の ON/OFF を行えば良く、これらの動作を自動的に行う制御手段をリフロー装置に設けることによって作業が容易となる。また、本実施形態では、半導体チップ上へのバンプ形成について記載したが、半導体ウエハを取り扱う場合も同様の方法でバンプを形成することが可能である。

## 【0071】

このように、本実施形態の半導体製造方法及び該製造方法に用いる半導体製造装置では、加熱プレート 20、冷却プレート 21、および非接触型加熱源 22 の設定温度、ON/OFF のタイミングを調整することにより、半導体チップの温度及び表裏面の温度勾配を正確に制御することが可能であり、確実にハンダバン

ブ7と接着層5との界面に金属間化合物を析出することができる。また、半導体チップ1aもしくは半導体ウェハはリフロープロセス中に搬送する必要が無いことから、破損や形成したハンダの移動によるブリッジの危険性がなく、歩留まりを向上させることができる。

#### 【0072】

##### 【実施例】

上記した本発明の実施の形態についてさらに詳細に説明すべく、本発明の実施例について図面を参照して具体的に説明する。

#### 【0073】

##### 【実施例1】

本発明の第1の実施形態で示した半導体装置の具体的な製造方法について、図2を参照して説明する。まず、半導体チップ1上に形成されたアルミニウム合金の配線2上に、密着層4としてチタンおよびチタン／タングステン合金を順次スパッタリングする。この上に、接着層5としてニッケル／バナジウム合金を1～5 $\mu$ m程度の厚さでスパッタリングにより形成し、さらにハンダ合金化層8として、銅をスパッタリングより形成する。このときの銅の膜厚としては、順次スパッタリングにより形成された電極の直径が略120 $\mu$ mで、錫と銀の共晶合金からなるハンダボールの直径が略150 $\mu$ mである場合、略0.8 $\mu$ mが最も適する。

#### 【0074】

こうして形成された電極に錫96.5重量％／銀3.5重量％の共晶ハンダボール9をフラックスとともに供給し、共晶ハンダボールの融点である221℃以上の温度で加熱し、ハンダボール9を溶解する。ハンダボール9はハンダ合金化層8の銅を一旦すべて溶解し、冷却とともにハンダは半球形状となり、界面にニッケル／錫の金属間化合物および、銅／錫の金属間化合物の複合したハンダ合金層6を形成し、接合を完了する。

#### 【0075】

こうして形成されたハンダバンプの断面を分析すると、図1に示すように、界面には上述のニッケル／錫の金属間化合物および、銅／錫の金属間化合物の複合

した複合ハンダ合金層 6 を形成しており、ハンダ中には銅がほとんどの存在しないことを確認している。

## 【 0 0 7 6 】

このハンダバンプ 7 は、界面に形成したニッケル／錫の金属間化合物および、銅／錫の金属間化合物の複合した複合ハンダ合金層 6 の存在より、この後にハンダ溶融温度以上に加熱履歴を加えても、接着層 5 であるニッケルの溶解や拡散によって著しく信頼性を低下させる反応層の形成を抑制するという効果を示す。

## 【 0 0 7 7 】

この効果と、複合ハンダ合金層 6 の存在形態について説明する。これら複合ハンダ合金層 6 は、ニッケル／錫の金属間化合物層及び銅／錫の金属間化合物が、各々その粒界に対して互いに拡散経路を遮断するように存在する形態により拡散が抑制される場合と、もう一つの形態として、ニッケルと銅の固溶体に対して錫が金属間化合物を形成し、3 元系の金属間化合物として存在する場合があります、この 3 元系の金属間化合物として存在する場合においても、拡散するための経路が複合して存在するニッケル、銅により遮断されるため相互拡散が抑制される。

## 【 0 0 7 8 】

ここで、ハンダ合金化層 8 は略 0. 8  $\mu\text{m}$  が最適としたが、その効果は膜厚 0. 6  $\mu\text{m}$  から 1. 2  $\mu\text{m}$  の間においても充分に発揮される。また、密着層 4、接着層 5 の膜厚は、半導体装置の製造上の都合により適宜変更されても問題ない。

## 【 0 0 7 9 】

## 〔実施例 2〕

次に、本発明の第 2 の実施例について説明する。本実施例の半導体装置は、前記した第 1 の実施例と同様に、半導体チップ 1 上に形成されたアルミニウム合金の配線 2 上に、密着層 4 としてチタンおよびチタン／タングステン合金を順次スパッタリングし、この上に接着層 5 としてニッケル／バナジウム合金を 1 ～ 5  $\mu\text{m}$  程度の厚さにスパッタリングにより形成し、さらにハンダ合金化層 8 として銅をスパッタリングより形成して電極が形成される。このときの銅の膜厚としては、順次スパッタリングにより形成された電極の直径が略 1 2 0  $\mu\text{m}$  で、錫と銀の共晶合金からなるハンダボール 9 の直径が略 1 5 0  $\mu\text{m}$  である場合、略 0. 8  $\mu$

mが最も適する。

【0080】

ここで、本実施例では、この銅のハンダ合金化層8上に、更に錫を厚さ0.5～1.0  $\mu\text{m}$ 供給し、220℃以上に加熱することにより銅と錫の金属間化合物およびニッケルと錫の金属間化合物の複合した複合ハンダ合金層6を予め形成することを特徴とし、この後に所定のハンダを供給してバンプを形成しても前記した第1の実施例と同様の効果をもたらすことが可能である。

【0081】

なお、前記した第1及び第2の実施例では、ハンダをハンダボール9の状態で供給する場合について示したが、図3に示すようにハンダペースト10として供給することもできる。

【0082】

〔実施例3〕

次に、本発明の第3の実施例について、図4を参照して説明する。図4は、本発明の第1の実施形態で示した構造の半導体チップを実装した半導体装置の構造を示す断面図である。図4に示すように、フリップチップタイプの半導体装置は、半導体チップ1上に形成されたアルミニウム合金の配線2上に密着層4としてチタンおよびチタン/タングステン合金を順次スパッタリングする。この上に接着層5としてニッケル/バナジウム合金を1～5  $\mu\text{m}$ 程度の厚さにスパッタリングにより形成し、さらにハンダ合金化層8として銅をスパッタリングより形成する。このときの銅の膜厚としては順次スパッタリングにより形成された電極の直径が略120  $\mu\text{m}$ で、錫と銀の共晶合金からなるハンダボール9の直径が略150  $\mu\text{m}$ である場合、略0.8  $\mu\text{m}$ が最も適する。

【0083】

こうして形成された電極に錫96.5重量%/銀3.5重量%の共晶ハンダボール9をフラックスとともに供給し、共晶ハンダボールの融点である221℃以上の温度で加熱し、ハンダボール9を溶解する。ハンダボール9はハンダ合金化層8の銅を一旦すべて溶解し、冷却とともにハンダは半球形状となり、界面にニッケル/錫の金属間化合物および、銅/錫の金属間化合物の複合したハンダ合金

層6を形成し、ハンダバンプ7となる。

【0084】

一方、予めハンダバンプ7と同組成のハンダを供給した電極を持つ基板12を用意し、この基板12の電極に半導体チップ1を位置合せし、加熱溶融して接合する。接合後には機械的強度および耐湿性を向上させるため、ハンダバンプ7の間隙を封止樹脂14により充填する。その後、さらに半導体チップ1のハンダバンプ7と同じ組成のハンダをBGA外部端子13として加熱溶融させて取り付け

【0085】

ここで、最初に取り付けられている半導体チップ1のハンダバンプ7は、本製造プロセスにおいて融点以上の加熱を繰り返し受けているが、本発明のハンダバンプ7では、加熱による接着層の溶解、拡散を抑制することができるため、歩留まり良く、信頼性の高い半導体装置を提供することができる。

【0086】

〔実施例4〕

次に、本発明の第2の実施形態で示した半導体製造装置を用いた半導体装置の製造方法について図7及び図8を参照して説明する。図7及び図8は、第4の実施例に係る半導体チップの構造を示す断面図であり、(a)は濡れ性改善層を接着層上に設けた構造を示し、(b)は濡れ性改善層を含まない構造を示している。

【0087】

図7に示すように、本実施例の半導体チップは、A1電極上に無電解メッキ法により接着層5のニッケル／リン層を約 $5\mu\text{m}$ の厚さで形成し、その上に濡れ性改善層17として約 $0.05\mu\text{m}$ の金メッキを施す。電極の直径は約 $120\mu\text{m}$ である。また、ハンダはボール搭載法により供給し、直径 $150\mu\text{m}$ 、組成は錫96.5重量％／銀3.0重量％／銅0.5重量％のボールを使用している。

【0088】

その後、ハンダ供給済み半導体チップ1aをリフロー装置内のステージ19上に設置し、リフローエリア18内を約 $10\text{Pa}$ まで減圧した後、窒素ガスを充填

する。リフローエリア18内の圧力が大気圧まで戻った後は窒素の流量を約15リットル/分とする。次に、約290℃に加熱した加熱プレート20をステージ19に接触させ、ハンダの融点である220℃を超えてから約75秒後に加熱プレート20を離し、続いて、冷却プレート21をステージ19に接触させて室温まで冷却する。この場合、最高温度は $265 \pm 2$ ℃、融点以上の時間は $85 \pm 2$ 秒であり、冷却速度は約4℃/秒であった。なお、本願発明者の実験によれば、冷却速度は約2℃/秒以上であれば本発明の効果を奏することを確認している。また、ステージ19に接触させるプレートを加熱プレート20から冷却プレート21に切り換えるタイミングを温度により制御するとロット間の温度ばらつきの影響を受けやすいため、融点以上の時間で制御する方が望ましい。

## 【0089】

上記方法により形成した半導体チップについて、バンプ断面を観察し元素分析を実施したところ、接着層5/ハンダバンプ7界面に約1 $\mu$ mの錫、銅、ニッケルで構成される金属間化合物層が接着層5を覆うように形成されているのが確認された。これは、錫と銅、錫とニッケルの金属間化合物が複合して形成された層であると考えられる。

## 【0090】

本発明の構造を有するバンプ付き半導体チップ（図6）と従来のリフロー工程により作製したバンプ付き半導体チップ（図14）とを150℃のオーブン内に3000時間保管し、両者の固相拡散による接着層5（無電解Ni層）の食われ速度を比較した。その結果、従来工程で作製されたバンプ付き半導体チップのNi層が約1.2 $\mu$ m食われたのに対し、本発明ではNi層の食われは0.1 $\mu$ m程度であり、本発明の構造は接着層5の溶解、固相拡散による食われ防止に大きな効果があることが確認された。

## 【0091】

なお、上記第4の実施例では、ハンダをハンダボール9の状態で供給する場合について示したが、図8に示すようにハンダペースト10として供給することもできる。

## 【0092】

## 【実施例 5】

次に、本発明の第 5 の実施例に係る半導体装置について説明する。なお、本実施例は、非接触型加熱源を備えたリフロー装置を用いた半導体装置の製造方法について記載するものである。

## 【0093】

本実施例の半導体チップは、A1 電極上に密着層を介してスパッタリングによりニッケル／バナジウムの接着層 5 を厚さ約  $1\ \mu\text{m}$  形成し、さらに上層に濡れ性改善層 17 の銅をスパッタリングにより約  $0.4\ \mu\text{m}$  形成する。電極の大きさは第 4 の実施例と同じく直径約  $120\ \mu\text{m}$  である。ハンダは、組成が錫 96.5 重量％／銀 3.5％の 2 元共晶、直径が  $150\ \mu\text{m}$  のボールをボール搭載法にて半導体チップ 1 の電極上に供給した。

## 【0094】

半導体チップをリフロー装置のステージ 19 上に設置した後の減圧、窒素ガス流量は第 4 の実施例と同じである。本実施例では、リフローエリア 18 上方に非接触型加熱源 22（赤外線ヒータ）を設けた装置を使用し、加熱は加熱プレート 20 と非接触型加熱源 22 の双方を用いて行った。加熱プレート 20 の温度は  $285^{\circ}\text{C}$  に設定し、加熱プレート 20 から冷却プレート 21 へ切り換えるタイミングは第 4 の実施例と同じく融点の  $220^{\circ}\text{C}$  を超えてから約 75 秒後とした。非接触型加熱源 22 は、ステージ 19 表面温度がハンダの融点より  $5^{\circ}\text{C}$  低い  $215^{\circ}\text{C}$  で OFF にした。この場合、最高温度は  $262 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、融点以上の時間は  $84 \pm 2$  秒、冷却速度は約  $4^{\circ}\text{C}/\text{秒}$  であった。なお、冷却速度は約  $2^{\circ}\text{C}/\text{秒}$  以上であればよいのは、前記した第 4 の実施例と同様である。

## 【0095】

以上の製造方法でバンプ形成したバンプ付き半導体チップのバンプ断面を観察、元素分析を行ったところ、接着層 5／ハンダバンプ 7 界面には前記した第 4 の実施例と同じく、錫、銅、ニッケルで構成される金属間化合物層が約  $0.8\ \mu\text{m}$  の厚さで形成されていた。

## 【0096】

なお、第 4 の実施例では接着層 5（ニッケル）の上に錫／銀／銅の 3 元系ハン



ダを供給するため、電解メッキ法によるハンダ供給は出来ないが、本実施例では接着層 5（ニッケル）上に予め銅層を形成しているので錫／銀の 2 元系ハンダを使用することができ、電解メッキ法によるハンダ供給も可能である。

## 【 0 0 9 7 】

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明は、錫の溶解、拡散を防止するためのハンダ合金化層を薄く形成し、合金ハンダをハンダペーストもしくはハンダボールの形態で供給し、加熱溶融することにより、ハンダを構成する金属とハンダ合金化層およびハンダを構成する金属と接着層の各々 2 つの複合した金属間化合物となるハンダ合金層を形成することを特徴とするものであり、予め接着層の上部に設けたハンダ合金化層を薄く設けることにより、得られるハンダバンプの構造は、合金ハンダと、ハンダを構成する金属とハンダ合金化層が反応した第 1 の金属間化合物と、ハンダを構成する金属と接着層が反応した第 2 の金属間化合物とが複合してなる金属間化合物層にて接合界面が形成され、この第 1 および第 2 の金属間化合物が複合した金属間化合物層は、第 1 の金属間化合物が薄いハンダ合金化層がすべて金属間化合物層となり、第 2 の金属間化合物とほぼ同時に形成される。

## 【 0 0 9 8 】

従って、第 1 の金属間化合物は、第 2 の金属間化合物を成長させる拡散経路を遮断するという役目を果たし、通常であれば拡散により成長するハンダ中の錫と接着層との金属間化合物層は、第 1 の金属間化合物が結晶粒界等の拡散経路に配置されることで成長が抑制され、組立中での繰り返しの加熱履歴や、実装後の使用環境下による温度変化に対して経時変化少ない信頼性の高い接合界面を得ることができ、従来の錫系 2 元合金を使用した低コストに形成できるハンダバンプ構造を有する半導体装置を提供することができる。

## 【 0 0 9 9 】

また、本発明において提言する半導体チップの電極上に形成されたハンダバンプ接続部の構造は、接着層界面に複合金属間化合物層を形成することで接着層のハンダ中への溶解・拡散を抑制し、パッケージの組立時にかかる融点以上の熱履歴や実使用環境下での熱履歴でも金属間化合物層の異常成長による強度低下が無

く、信頼性の高い半導体装置を提供することができる。これは錫と鉛の共晶ハンダよりも錫の含有率が高く、信頼性上の問題が顕著である鉛フリーハンダにおいて特に効果を発揮する。

#### 【0100】

更に、本発明では、リフロー装置に半導体チップを下方から加熱／冷却する加熱プレート及び冷却プレートと、半導体チップを上方から加熱する非接触型加熱源とを備えているため半導体チップの詳細な温度制御が可能であり、また、加熱プレートから冷却プレートへ切り替えた後も非接触型加熱源で半導体チップを上方から加熱することにより、半導体チップ表裏面の温度勾配を大きくすることができる。接合部の金属間化合物層を材料設計通りに形成することができる。また、本発明のリフロー装置では、プロセス中に半導体チップまたは半導体ウェハを搬送する必要がないため、半導体チップの破損や形成したハンダの移動によるブリッジが発生する危険性がなく、歩留りを向上させることができる。

#### 【0101】

なお、本発明は上記各実施例に限定されず、本発明の技術思想の範囲内において、各実施例は適宜変更され得ることは明らかである。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の構造を示す断面図である。

##### 【図2】

本発明の第1の実施形態に係るハンダバンプ形成前の半導体装置の構造を示す断面図である。

##### 【図3】

本発明の第1の実施形態に係るハンダバンプ形成前の半導体装置の構造を示す断面図である。

##### 【図4】

本発明の第3の実施例に係る半導体装置の構造を示す断面図である。

##### 【図5】

従来技術を示す断面図である。

【図 6】

本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の構造を示す断面図である。

【図 7】

本発明の第 2 の実施形態に係るハンダバンプ形成前の半導体装置の構造を示す断面図である。

【図 8】

本発明の第 2 の実施形態に係るハンダバンプ形成前の半導体装置の他の構造を示す断面図である。

【図 9】

本発明の第 2 の実施形態に係るリフロー装置の構成を示す断面図である。

【図 1 0】

本発明の第 2 の実施形態に係るリフロー装置の他の構成を示す断面図である。

【図 1 1】

本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示すフロー図である。

【図 1 2】

本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図 1 3】

本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造工程における加熱／冷却のタイミングを説明するための図である。

【図 1 4】

従来の半導体装置の構造を示す断面図である。

【図 1 5】

従来のバンプリフロー装置を示す図である。

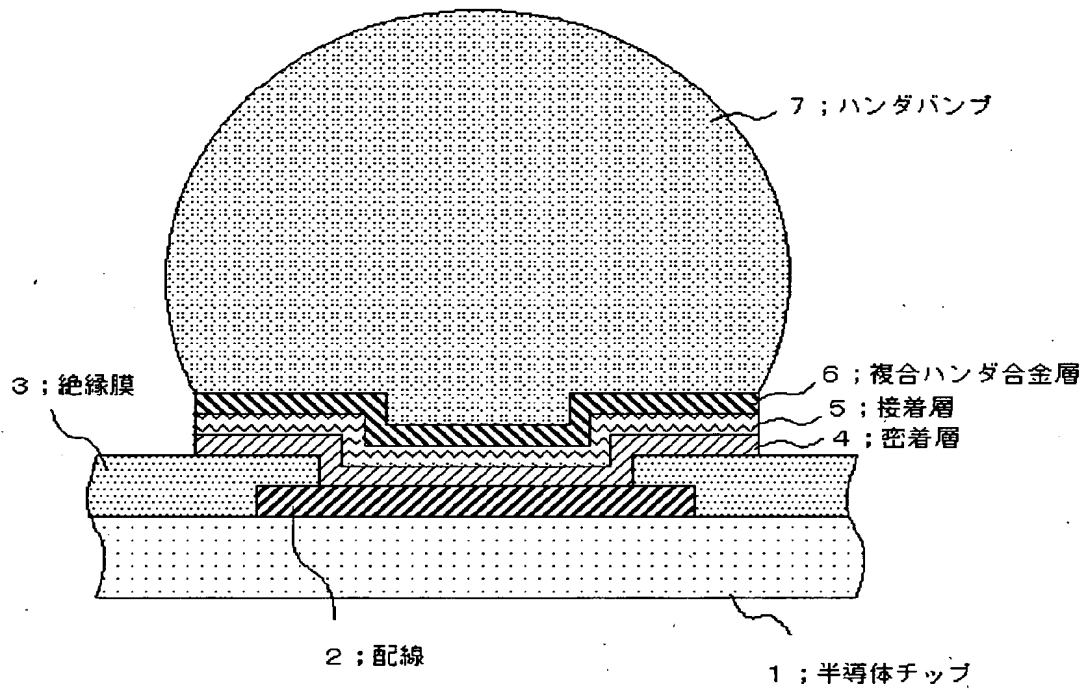
【符号の説明】

- 1 半導体チップ
- 1 a ハンダ供給済み半導体チップ
- 2 配線
- 3 絶縁膜
- 4 密着層

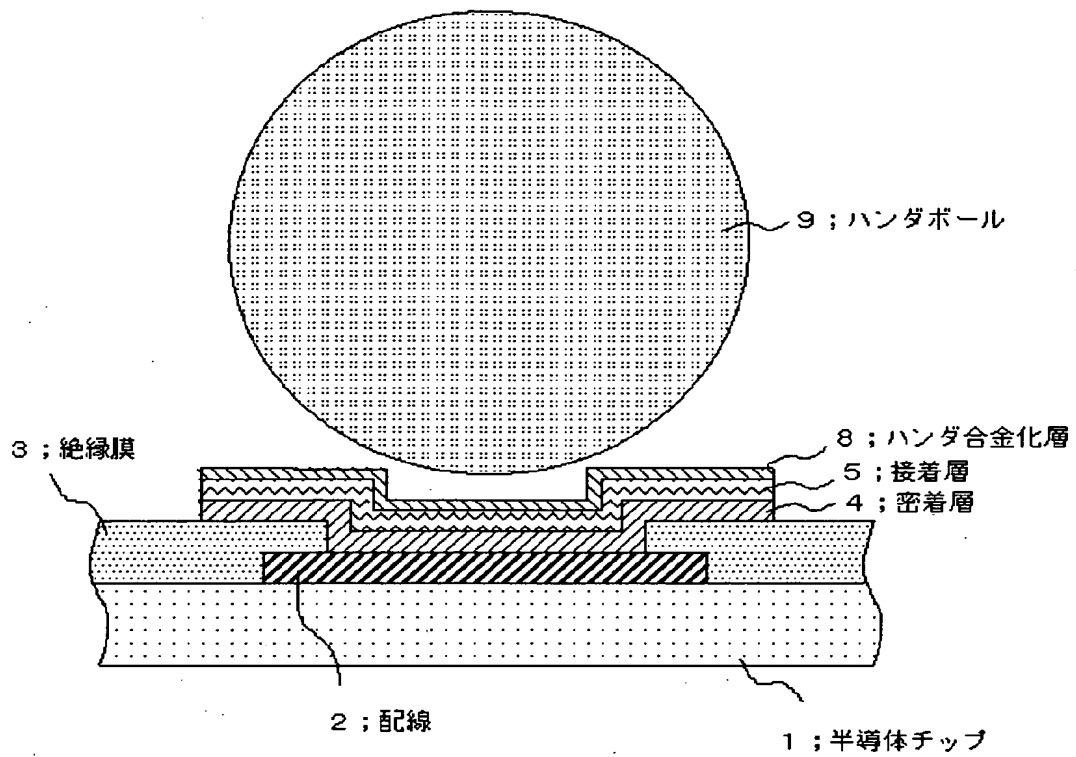
- 5 接着層
- 6 複合ハンダ合金層
- 7 ハンダバンプ
- 7 a 錫系多元合金ハンダバンプ
- 8 ハンダ合金化層
- 9 ハンダボール
- 1 0 ハンダペースト
- 1 1 金属間化合物層
- 1 2 基板
- 1 3 B G A 外部端子
- 1 4 封止樹脂
- 1 5 単一金属間化合物
- 1 6 フラックス
- 1 7 濡れ性改善層
- 1 8 リフローエリア
- 1 9 ステージ
- 1 9 a 加熱源付きステージ
- 2 0 加熱プレート
- 2 1 冷却プレート
- 2 2 非接触型加熱源
- 2 3 単一金属間化合物層

【書類名】 図面

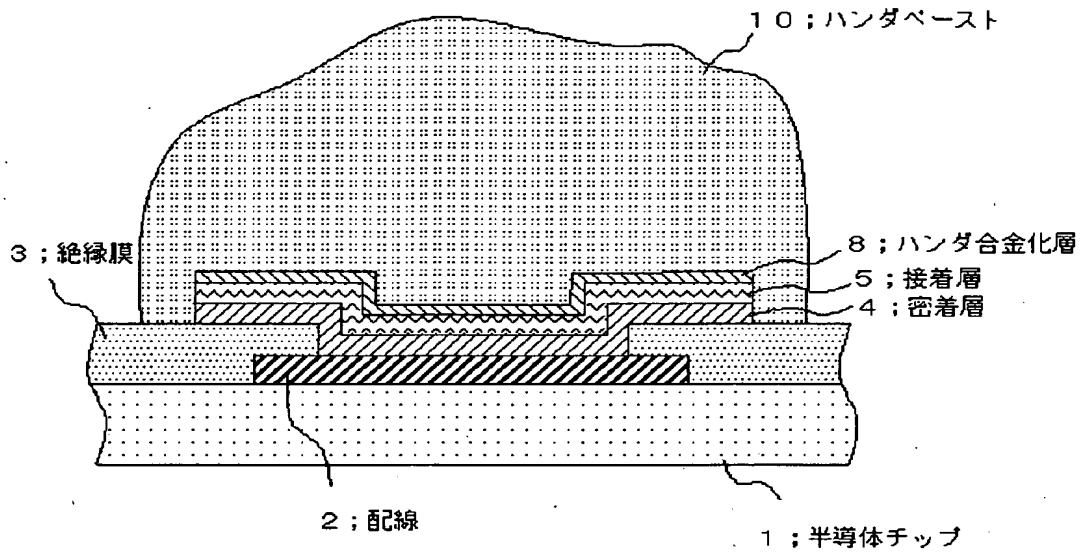
【図1】



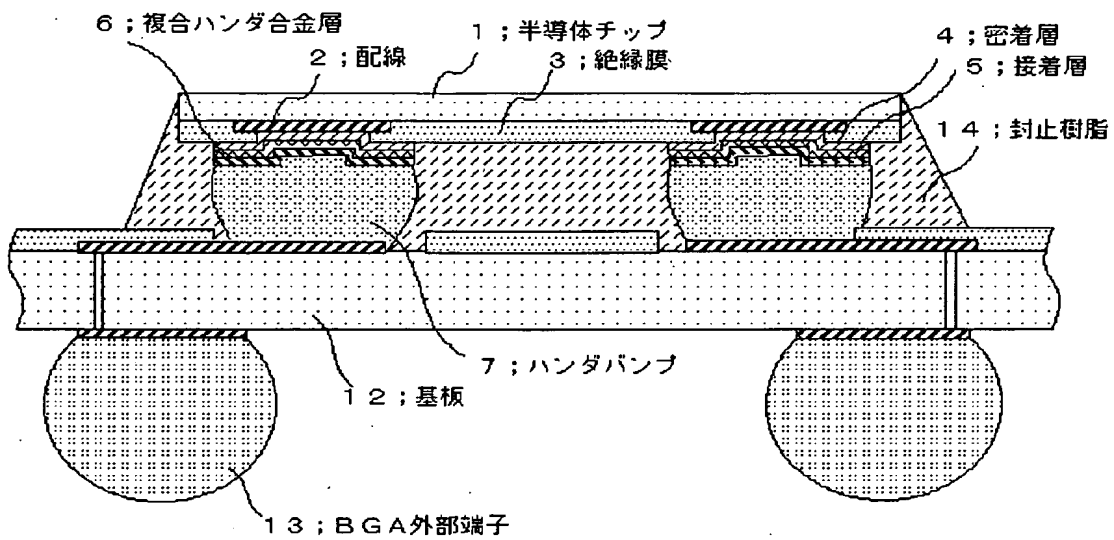
【図 2】



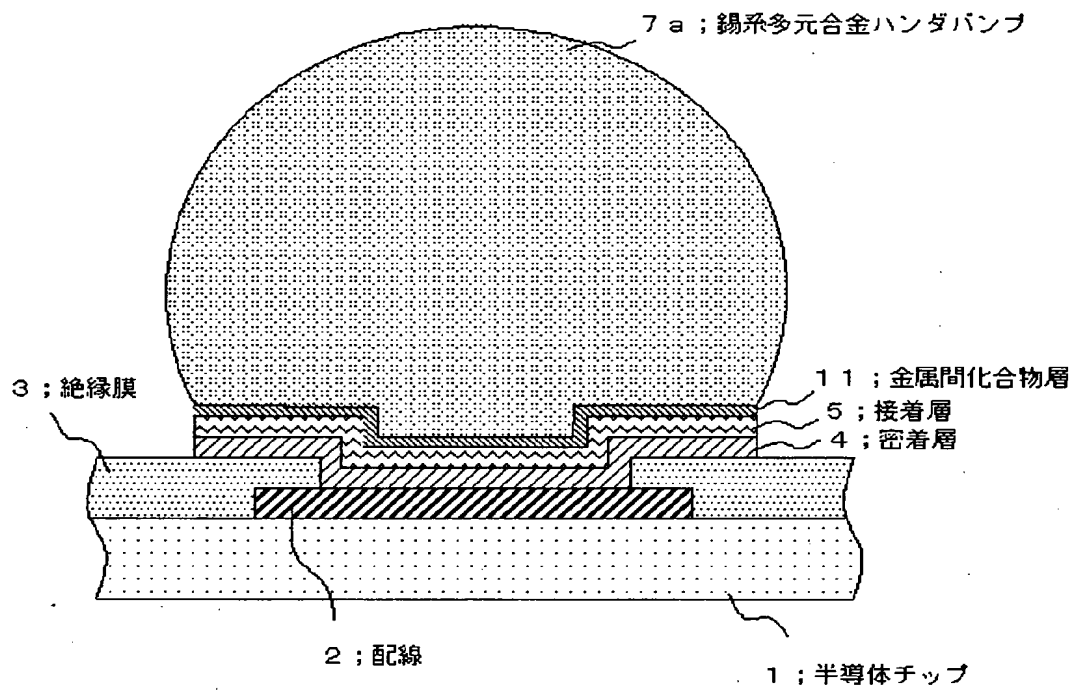
【図3】



【図4】

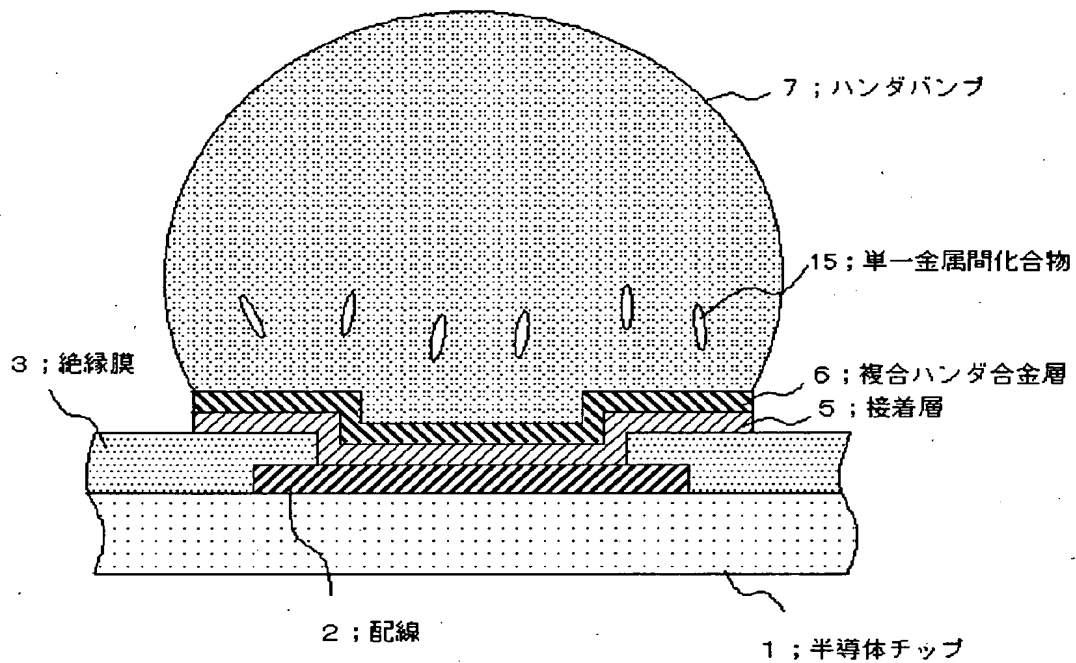


【図5】



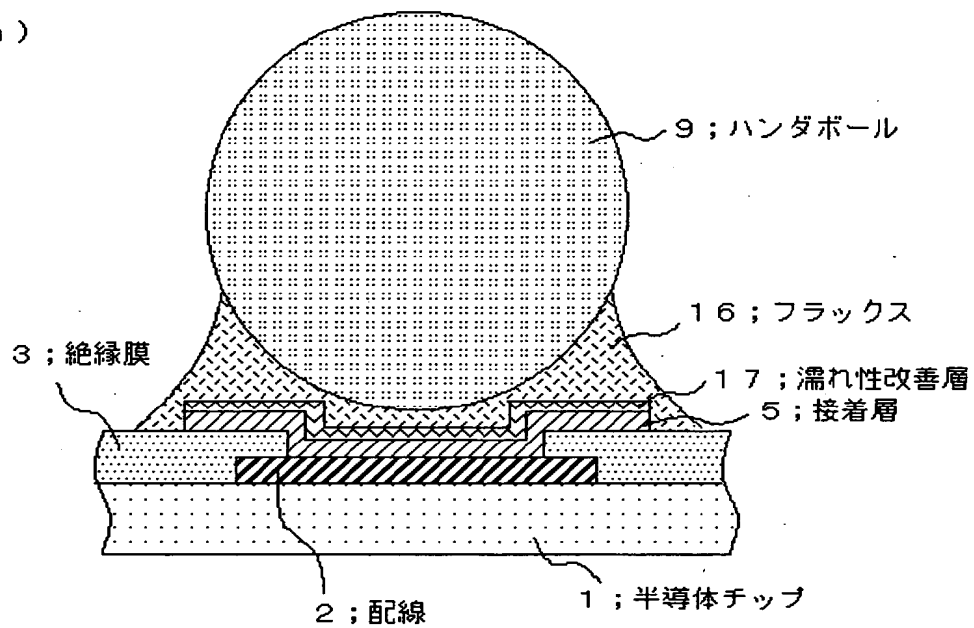


【図 6】

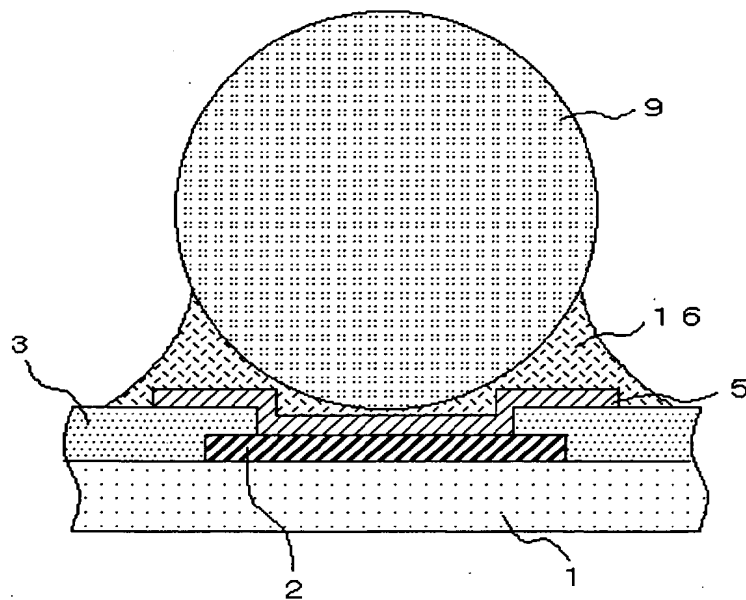


【図 7】

(a)

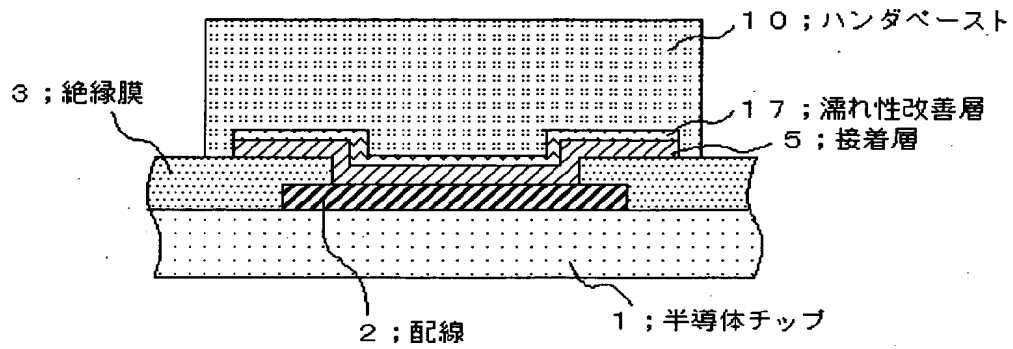


(b)

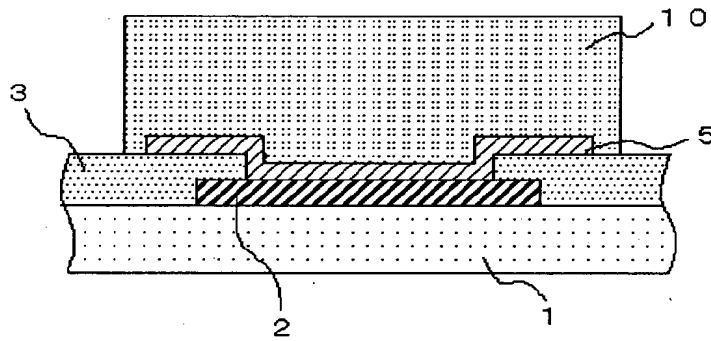


【図 8】

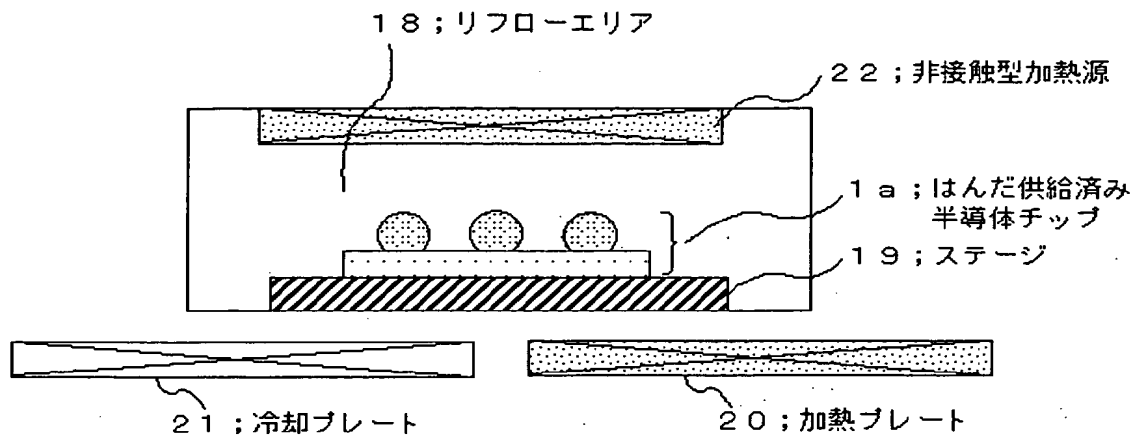
(a)



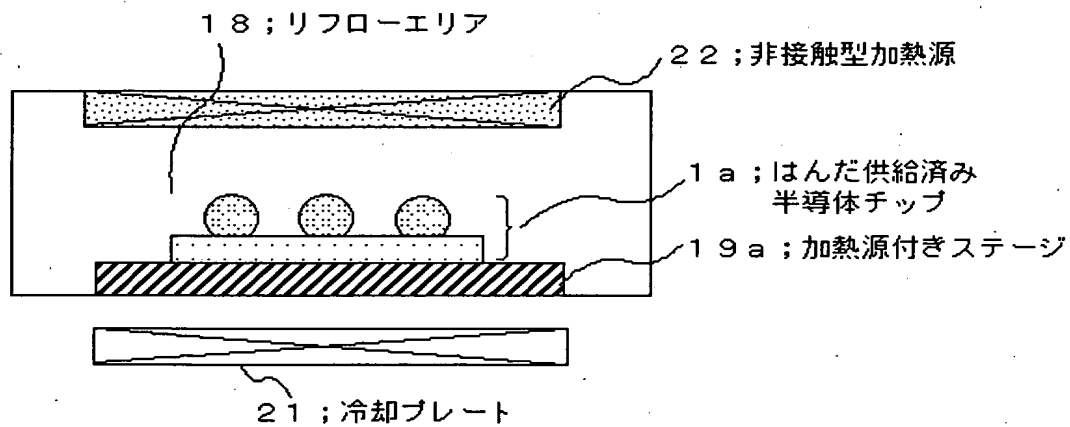
(b)



【図9】

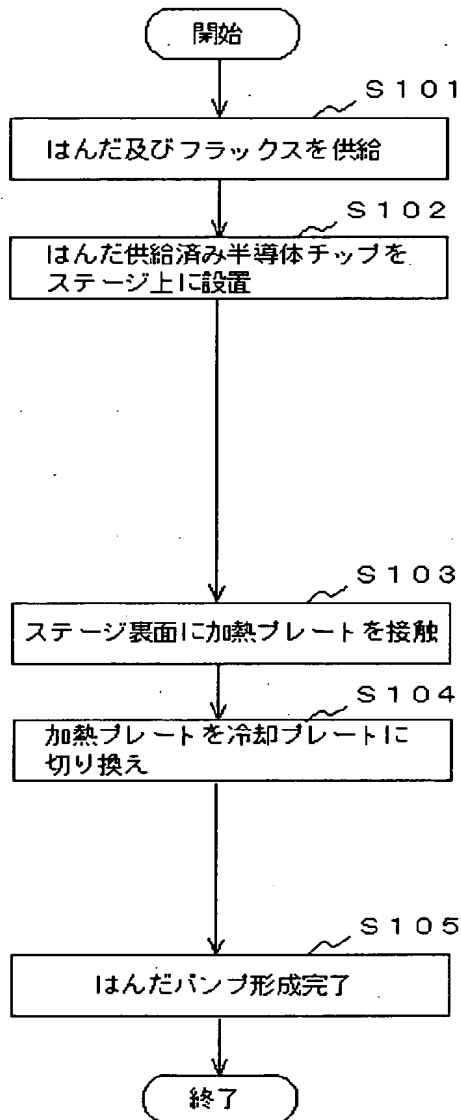


【図10】

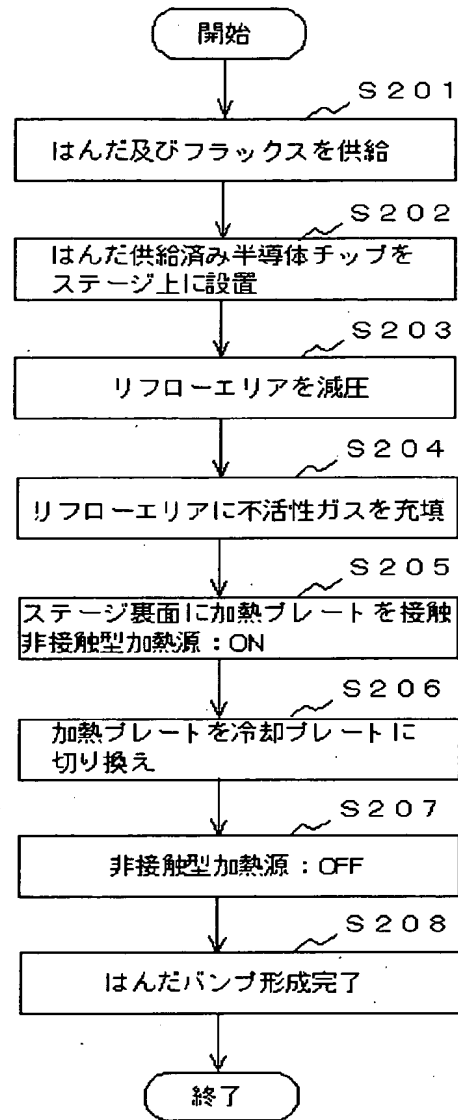


【図 11】

(a)

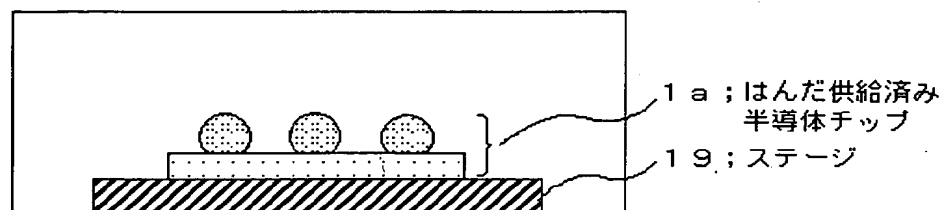


(b)

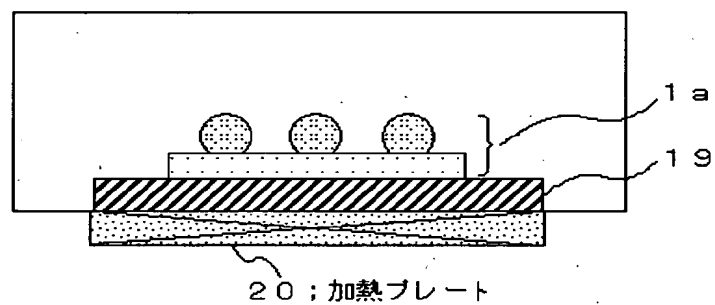


【図12】

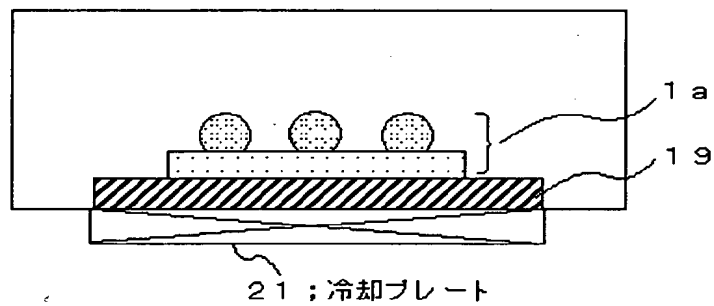
(a)



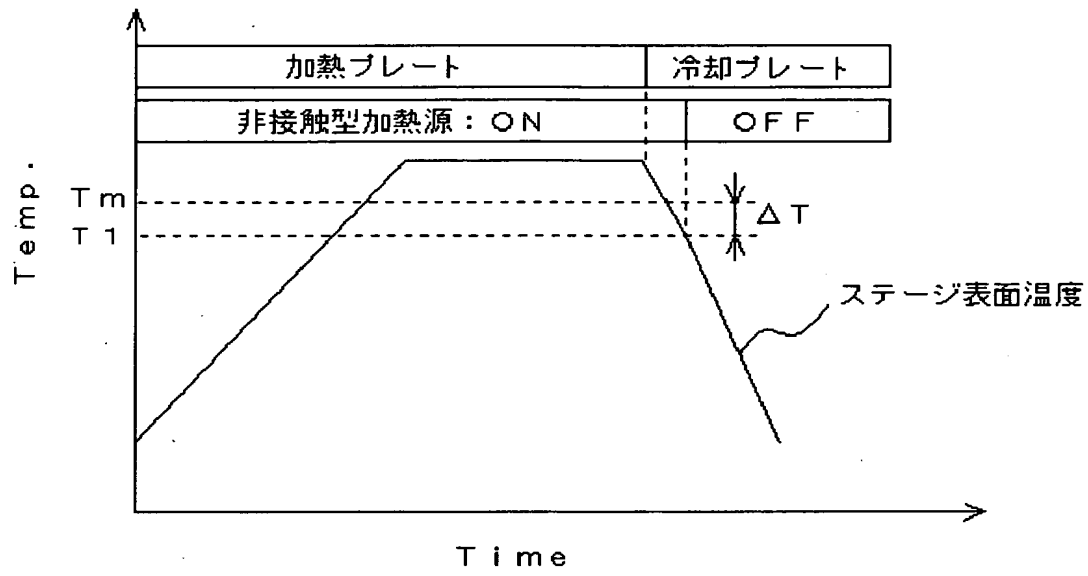
(b)



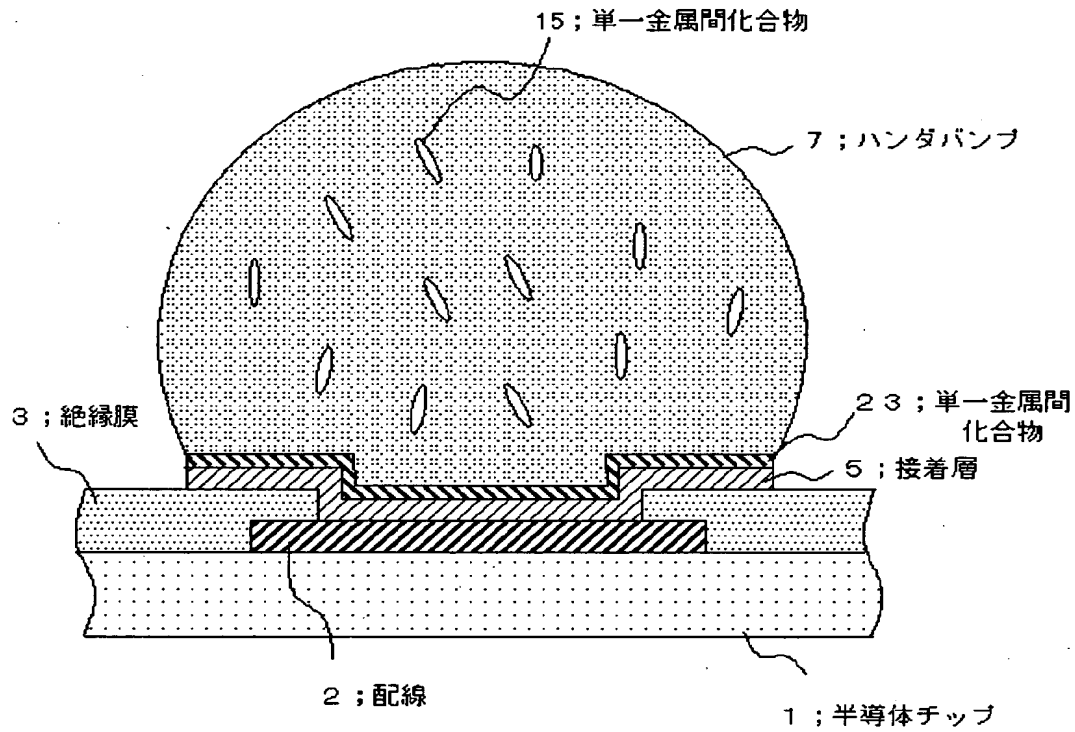
(c)



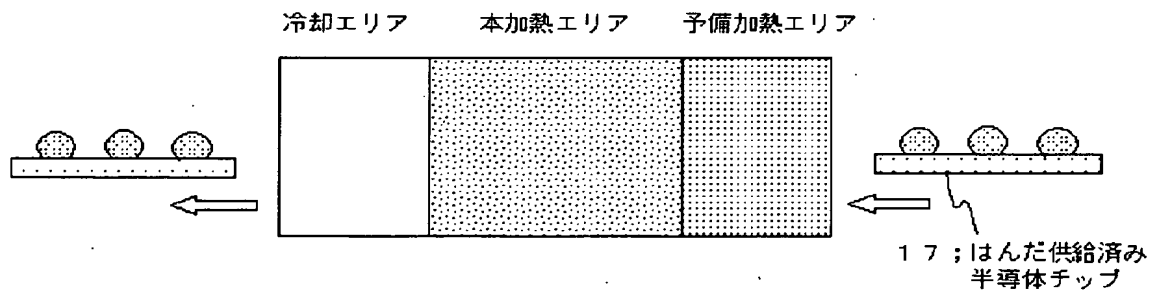
【図13】



【図 14】



【図 15】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

多元系の金属組成によって構成されたハンダを使用することなく、従来使用している２元系のハンダを使用した場合であっても、接合部の界面反応を制御することができる信頼性の高い半導体チップの電極構造、該電極構造を有する信頼性の高い半導体装置及びその製造方法並びに半導体製造装置の提供。

【解決手段】

接着層５上に、鉛フリーハンダとして主に使用される錫を主成分としたハンダに対して錫の溶解、拡散を防止するためのハンダ合金化層８を薄く形成し、錫系ハンダをハンダペーストもしくはハンダボールの形態で供給し、加熱溶融することにより、錫とハンダ合金化層８および錫と接着層５の各々２つの複合した金属間化合物となる複合ハンダ合金層６を形成する。

【選択図】

図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名	日本電気株式会社